

**Лисиенко Владимир Георгиевич**

*д.т.н., проф. департамента информационных технологий и автоматике*

*Уральский федеральный университет*

*им. первого Президента России Б.Н. Ельцина*

*г. Екатеринбург*

*e-mail: lisienko@mail.ru*

**Чесноков Юрий Николаевич**

*к.т.н., доц. департамента информационных технологий и автоматике*

*Уральский федеральный университет*

*им. первого Президента России Б.Н. Ельцина*

*г. Екатеринбург*

*e-mail: ch\_jur@mail.ru*

**Лаптева Анна Викторовна**

*к.т.н., доц. кафедры бизнес-информатики*

*Уральский государственный экономический университет,*

*г. Екатеринбург*

*e-mail: annalapteva@mail.ru*

## **УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД АЛЮМИНИЯ**

*Аннотация. Алюминий и его сплавы широко используются в различных отраслях металлургии и машиностроения. Возникает вопрос, как производство алюминия влияет на эмиссию парниковых газов, таких как диоксид углерода и метан. Причем, представляет интерес сквозная эмиссия углеродосодержащих (парниковых) газов, т. е. суммарная эмиссия во всех процессах технологической цепи, начиная с добычи сырья и заканчивая получением слитков. Понятие сквозной эмиссии эквивалентно понятию углеродный след. Здесь не рассматриваются вопросы определения сквозной эмиссии при получении продуктов прокатки или волочения. Конечной операцией в данном материале подразумевается получение жидкого алюминия.*

*Ключевые слова: алюминий, глинозем, криолит, электролиз.*

**Lisienko Vladimir Georgievich**  
*Dr.Sci.Tech., prof. Department of Information  
Technology and Automation  
Ural Federal University named  
after the first President of Russia B. N. Yeltsin  
Yekaterinburg*

**Chesnokov, Yuri Nikolaevich**  
*Ph.D., doc. Department of Information  
Technology and Automation  
Ural Federal University named  
after the first President of Russia B. N. Yeltsin  
Yekaterinburg*

**Lapteva, Anna Viktorovna**  
*Ph.D., doc. Department of Business Informatics  
Ural State University of Economics,  
Yekaterinburg*

## **CARBON FOOTPRINT OF ALUMINIUM**

*Abstract. Aluminium and its alloys were widely used in various industries of metallurgy and mechanical engineering. The question arose as to how aluminium production affected the emission of greenhouse gases such as carbon dioxide and methane. Moreover, the end-to-end emission of carbon-containing (greenhouse) gases is of interest, that is, the total emission in all processes of the technological chain, from the extraction of raw materials to the production of ingots. The concept of end-to-end emission is equivalent to the concept of ear-to-wood trace. The issues of determining end-to-end emission in the production of rolling or drawing products are not considered here. The final step in this material is to obtain liquid aluminium.*

*Keywords: aluminium, alumina, cryolite, electrolysis.*

Исходным сырьем для получения алюминия служат бокситы, нефелины и алуниты. Из них получают глинозем, который содержит оксид алюминия  $Al_2O_3$ . Из глинозема электро-

литическим способом получают жидкий алюминий, который затем подвергается рафинированию. Глинозем из бокситов производят способами К. И. Байера или спекания.

Боксит дробят и размалывают до зерен 0,05–0,15 мм с добавлением раствора щелочи NaOH. Полученная пульпа поступает в автоклавы на выщелачивание при высоком давлении, подогреве до 100–240 °С и перемешивании. Такие условия обеспечивают течение реакции вправо. Полученный алюминатный раствор  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  для выделения шлама поступает на процесс разделения. Затем выполняется декомпозиция (разложение) этого раствора при атмосферном давлении, охлаждении и перемешивании или продувкой сжатым воздухом. Алюминат натрия выпадает в осадок. После чего наступает очередь отделения кристаллов гидроксида алюминия от раствора обезвоживанием. Полученный глинозем поступает на электролиз. В перечисленных процессах непосредственная эмиссия диоксида углерода отсутствует. Имеется транзитная эмиссия при производстве электроэнергии, воздуха и пара.

Для производства 1 т глинозема по способу Байера необходимо 90 кг гидроксида натрия (каустической соды), 2,5 т бокситов, 120 кг извести, 180 кг мазута, 8 т пара, 280 кВт/ч электроэнергии [4].

Способ спекания для производства глинозема основан на получении твердых алюминатов путем их спекания при температуре 1300 °С и выщелачивании полученного спека.

Пульпу после мокрого измельчения боксита, известняка, свежей соды ( $\text{Ca}_2\text{CO}_3$ ) спекают во вращающихся трубчатых печах. При этом кремнезем связывается в нерастворимый силикат  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ . Полученный диоксид углерода используется в составе дымовых газов в процессе карбонизации.

Затем алюминат натрия  $\text{NaAlO}_2$  растворяют и отделяют от не растворившейся части, происходит процесс выщелачивания.

Феррит натрия, образующийся в этом процессе, разлагается водой. После выщелачивания следует процесс обескремнивания с добавкой извести.

Следующий процесс – карбонизация с использованием дымовых газов. В этой связи образованием диоксида углерода в процессе спекания пренебрегаем.

Для производства 1 т глинозема по способу спекания необходимо 3,2–3,6 т бокситов, 1,35 т известняка, 0,025 т извести, 0,19 т кальцинированной соды, 1,1–1,2 т условного топлива, 800 кВт/ч электроэнергии [4].

Для получения электролита необходим криолит. Он используется в процессе электролитического получения алюминия. Его производят из плавикового шпата ( $\text{CaF}_2$ ), который после добычи подвергается обогащению. Плавиковый шпат измельчают и смешивают с серной кислотой во вращающейся печи при температуре 200 °С. Получается фторид водорода, который служит для получения плавиковой кислоты. Из-за примесей  $\text{SiO}_2$  в плавиковом шпате в этом процессе образуется газ  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ . Этот газ и фторид водорода подаются в башни с водой. Полученный раствор очищают от  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  добавлением соды. Соль фторокремниевой кислоты выпадает в осадок, остается чистый раствор плавиковой кислоты  $\text{HF}$ . Потом с ее применением получают криолит. Криолит  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  выпадает в осадок, его просушивают при температуре 130–150 °С.

Алюминий производят электролизом глинозема, растворенного в расплавленном электролите, основой которого является криолит. Для улучшения свойств электролита в него добавляют  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$  и  $\text{NaCl}$  (иногда). Состав электролита в процессе изменяется, что требует корректировки. Процесс проходит в алюминиевых электролизерах, которые состоят из ванны, футерованной определенным образом, также угольных электродов. В районе электродов выделяются газы, которые улавливаются газосборным колоколом или газоулавливающим коробом.

Электролит плавится от тепла, выделяемым электрическим током. В расплавленном состоянии в электролите содержатся следующие ионы:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{AlO}_2^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{AlOF}_5^{4-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Носителями тока являются ионы  $\text{Na}$  (90 %) и  $\text{F}$  (10 %). Ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  не разряжаются на катоде, а ионы  $\text{F}^-$  не разряжаются на аноде.

Ионы  $\text{Al}$  и оксифторидные ионы, которые переносят кислород, разряжаются на катоде и аноде. Жидкий алюминий разливают в слитки или вайербарсы.

Для производства 1 т алюминия требуется 25 кг трифторида алюминия  $\text{AlF}_3$ , 1,95 т глинозема, 25 кг криолита, 0,6 т анодной массы, 15 МВт·ч электроэнергии от гидроэлектро-

станций [4]. Таким образом, в самом процессе сгорает 600 кг анодной массы. Положим, что она имеет 88 % углерода. Следовательно, сквозная эмиссия  $\text{CO}_2$  процесса

$$m_{\text{CO}_2} = 600 \cdot 0,88 \cdot 3,667 = 1\,936 \text{ кг } \text{CO}_2/\text{т алюминия}.$$

Найдены следующие сквозные эмиссии диоксида углерода (углеродный след) при производстве глинозема способом:

- Байера – 4 645 кг у.т./т алюминия;
- спекания – 5 128 кг у.т./т алюминия.

Производство алюминия из глинозема, полученного способом Байера, оказывает меньшее влияние на климат Земли.

### Список использованных источников

1. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия : учеб. для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. М.: Металлургия, 1998. 768 с.
2. Процессы и аппараты цветной металлургии : учебник / С. С. Набойченко, Н. Г. Агеев, С. В. Карелов [и др.] ; под общей ред. С. С. Набойченко. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-то, 2013. 564 с.
3. Тарасов, А. В. Общая металлургия / А. В. Тарасов, Н. И. Уткин. М. : Металлургия, 1997. 592 с.
4. Кистяковский, Б. Б. Производство цветных металлов / Б. Б. Кистяковский, Н. В. Гудима. М. : Металлургия, 1978. 344 с.
5. Эффективное оборудование для получения каустической соды, выпаривания щелочи, охлаждения упаренного раствора и вывода сульфатов Код доступа [https://mashprom.ru/press/publication/\\_aview\\_b22/](https://mashprom.ru/press/publication/_aview_b22/)
6. Чесноков, Ю. Н. Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями / Ю. Н. Чесноков, В. Г. Лисиенко, А. В. Лаптева. // Металлург. 2012. № 12. С. 23–26.